

رشد و بررسی خواص نانو ساختاری اکسید تیتانیوم و نیتراید آلومینیوم

علی بهاری، کبرا حسن زاده، مونا امیر صادقی و ماندانا رودباری

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر
پست الکترونیکی: a.bahari@umz.ac.ir

(دریافت مقاله: ۸۶/۲/۳۱؛ دریافت نسخه نهایی: ۸۶/۱۱/۶)

چکیده

اکسید تیتانیوم و نیتراید آلومینیوم را در شرایط به ترتیب فشار بالا و فشار بسیار پایین بر زیر لایه سیلیکونی رشد داده ایم و با استفاده از تکنیک‌هایی نظیر تابش سینکروترونی، AES (Auger Electron Spectroscopy) و SEM (Scanning Electron Microscope) به مطالعه ساختار آنها پرداختیم. بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهند که فیلم آمورف اکسید تیتانیوم و یا نیتراید آلومینیوم بر زیر لایه سیلیکون شکل گرفته است که این ویژگی در کنار بالا بودن ثابت دی الکتریک آنها، می‌تواند از آنها یک گیت دی الکتریک مناسب به جای اکسید فرا نازک سیلیکون بسازد.

واژه‌های کلیدی: نیمرسانا، فیلم نازک، CMOS، اکسید تیتانیوم و نیتراید آلومینیوم، تکنیک‌های سینکروترون، AES و SEM

۱. مقدمه

نمونه آنها از ساختار میکرو کریستالی برخوردار بوده‌اند که نمی‌توان از آن به عنوان یک گیت دی الکتریک مناسب نام برد.

امروزه ضخامت اکسید فوق نازک سیلیکون در گیت دی الکتریک ترانزیستورهای CMOS (Complementary Metal - Oxide - Semiconductor) حدود ۱-۱/۲ نانو متر است که به دلایل زیادی نمی‌تواند به عنوان یک گیت دی الکتریک مناسب در تولیدات آتی ترانزیستورهای CMOS باشد. از جمله این موارد می‌توان به نفوذ عناصر سبکی چون بورن از الکتروود پلی سیلیکون به گیت دی الکتریک و افزایش تابع نمایشی جریان تونل زنی از چشمه به چاه نانو ترانزیستورهای اثر میدانی مزبور اشاره کرد. مسائل فوق به روشنی نشان می‌دهند که باید به فکر جانشینی برای گیت اکسید دی الکتریک باشیم. مواد جانشین باید از ثابت دی الکتریک بالا

در سالهای اخیر مطالعات نظری، تجربی و عملی روی خواص اکسید تیتانیوم انجام شده است. دلیل این علایق را می‌توان کاربرد آن در حسگرها، سلولهای خورشیدی [۱]، زیر لایه مناسب به جای میکا در رشد نانو رشته‌ها [۲]، به عنوان یک پوشش ضد بازتابی و خواص نوری جالب، پایداری شیمیایی و گرمایی بالا و همچنین پوشش چند لایه‌ای نوری به عنوان صافیه‌های اپتیکی (Optical Filters) [۳ و ۴] دانست. در سالهای اخیر، مطالعات زیادی در ارتباط با نانو ساختارهای لایه فلزی بر سطوح اکسیدی و سیلیکونی انجام شده است که مجموعه کارهای فوق را می‌توان در مرجع [۲] ملاحظه نمود. فو و واگنر [۲] آزمایش‌هایی را در دماهای پایین به منظور یافتن یک چند ساختاری مناسب برای سیستم‌های مینیاتوری انجام داده‌اند. اما همچنان لایه میانی بین فیلم و زیر لایه سیلیکون در

برخوردار باشند و مهمتر اینکه لایه میانی مناسبی را با زیر لایه داشته باشند.

نانو اکسید تیتانیوم (TiO_2) و نیتريد آلومینیوم به دلیل ویژگیهای خوبی که از خود نشان داده اند می توانند جایگزین مناسبی برای اکسید فوق نازک سیلیکون شود، اما همچنان بسیاری از ویژگیهای آنها ناشناخته مانده است.

بنای ما در این مقاله آن است که ببینیم آیا ممکن است اکسید تیتانیوم و یا نیتريد آلومینیوم لایه میانی خوبی با زیر لایه سیلیکون داشته باشد و آیا قادر هستند تا در قیاس با اکسید فوق نازک سیلیکون [۵ - ۷] مانع جریان نشتی و نفوذ بورن از الکترو د پلی سیلیکون به گیت دی الکترونیک CMOS گردد یا خیر؟

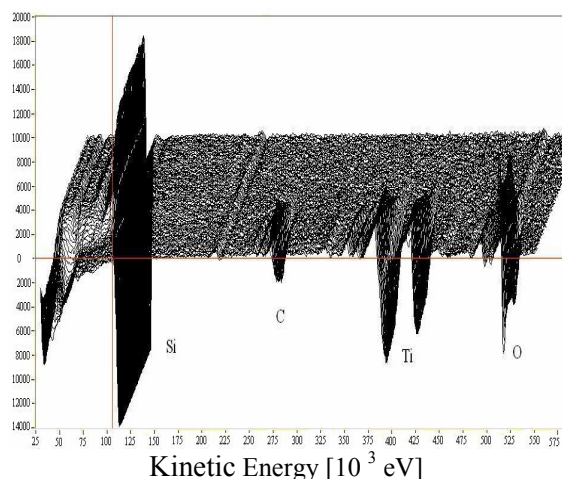
بررسیهای به عمل آمده در این مقاله این امید را می دهد که این امکان وجود دارد زیرا این مواد به دلیل دارا بودن ثابت دی الکترونیک بالا در مقایسه با اکسید سیلیکون می توانند جریان نشتی یا تونل زنی را تا حدود زیادی کاهش دهند. در همین راستا با استفاده از ماشین Auto ۵۰۰ Coater [۸] در دانشگاه اودنسه دانمارک توانستیم تیتانیوم را با روش تبخیر حرارتی بر زیر لایه $Si(111)$ لایه نشانی کنیم. در روش دیگر نیتريد های فلزی نیز می توانند گزینه مناسبی در تولیدات آتی ترانزیستورهای CMOS باشند. در اینجا ساختار نیتريد آلومینیوم که قابلیت جانشینی با اکسید فوق نازک سیلیکون را دارد و از لایه میانی خوبی با زیر لایه سیلیکون برخوردار است را در کنار تیتانیوم اکسید بررسی کردیم. آزمایشها روی نیتريد آلومینیوم در دانشگاه آرهوس دانمارک با تابش سینکروترونی انجام شده و تجزیه و تحلیل طیفهای سینکروترونی مزبور در گروه فیزیک دانشگاه مازندران با استفاده از برنامه استاندارد FitXPS [۹] انجام شده است. نتایج نشان می دهند که لایه میانی نیتريد سیلیکون بین نیتريد آلومینیوم و سیلیکون تشکیل نشده است و این از مزیت های نیتريد آلومینیوم است چون در غیر این صورت بر ظرفیت خازن شکل گرفته تأثیر می گذارد. علاوه بر این فیلم نازک نیتريد آلومینیوم آمورف است که یکی دیگر از امتیازات فیلم یاد شده می باشد.

خلاصه با تکنیکهایی چون تابش سینکروترونی، AES و SEM به بررسی ساختار شیمیایی و چگونگی ساختار اکسید تیتانیوم (و نیتريد آلومینیوم) پرداختیم. با مقایسه غلظتهای نسبی و نگاه در فصل مشترک یا لایه میانی اکسید تیتانیوم (و نیتريد آلومینیوم) و زیر لایه سیلیکون به روشنی دیدیم که فیلم آمورف است و لایه میانی SiO_2 بین TiO_2 (AIN) و زیر لایه $Si(111)$ شکل نگرفته است.

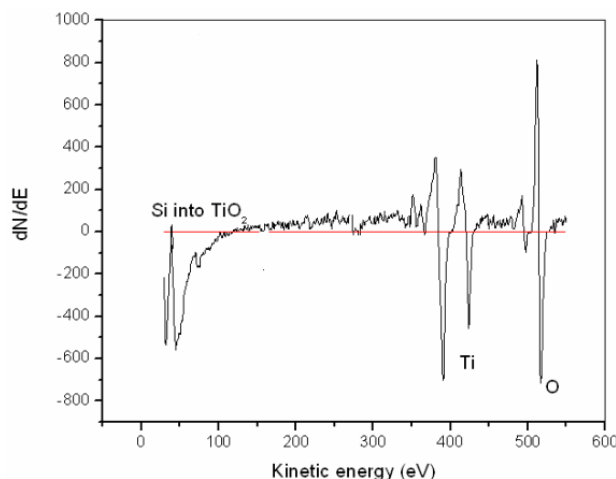
۲. جزئیات آزمایش و نتایج

دو نمونه Ti و $Si(111)$ به ترتیب از سیمهای تیتانیوم به قطر ۳ میلی متر و از ورقه های بزرگ نوع n سیلیکون بریده شده اند. نمونه سیلیکون دارای اندازه 10×10 میلی متر مربع بوده که مقاومت ویژه اش ۵ اهم - سانتی متر و ضخامت ورقه ۲ میلی متر می باشد. این نمونه ها از یک طرف کاملاً صیقلی شده اند و پس از گذاشتن در بشر حاوی اتانول، به مدت یک ساعت آنها را در حمام فرا صوت نهاده ایم. اما سیم تیتانیوم را به قطعات بسیار کوچکی تقسیم کردیم و چند تکه از آن را در لوله استوانه ای بسیار کوچک و باریک ارتعاش گر وارد کردیم. در مرحله ای دیگر سیمی به طول ۳ سانتی متر را با پیچاندن سیم حامل الکتروسیسته به دور تیتانیوم آن را معلق نگاه داشتیم و با عبور جریان الکترونیکی در هر دو مرحله و در نتیجه داغ شدن زیاد، تیتانیوم را ذوب کردیم که به صورت ذرات معلق درآمدند. این آزمایش در محفظه فرا خلاء [۱۰] صورت گرفته است که فشار اولیه آن حدود 10^{-9} تور بود اما در حین آزمایش به 5×10^{-7} تور رسیده است. این زمانی بوده است که پمپها فعال نبودند و محفظه تا حدودی پر از ذرات کوچک تیتانیوم بوده است و به راحتی می توانستند بر زیر لایه سیلیکون نشست کنند. اما ناگفته نماند که سیلیکون پیشتر با عبور چند باره و سریع جریان الکترونیکی تمیز شده بود یعنی نمونه های سیلیکون در اثر عبور جریان الکترونیکی بسیار داغ شده بودند و آنگاه ناخالصیها و کثیفیها، سیلیکون را ترک کردند و از طریق پمپها به خارج محفظه فوق خلاء فرستاده شدند.

پس از آن که در فشار حدود 5×10^{-7} تور، Ti را بر روی



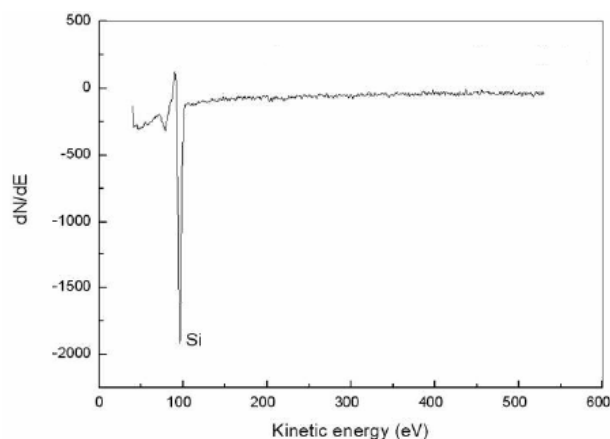
شکل ۲. طیف عناصر پس از کند و پاش با یون آرگون.

شکل ۱. طیف AES مربوط به TiO_2 .

از فیلم جدا شده و خارج شده است. ملاحظه می‌شود که اتمهای تیتانیوم بیشتر در لایه میانی با زیر لایه سیلیکون قرار گرفتند و کاملاً نشان می‌دهد که لایه میانی اکسید سیلیکون بین فیلم اکسید تیتانیوم و زیر لایه سیلیکون تشکیل نشده است. با استفاده از تکنیک کندوپاش معلوم شده است که اتمهای اکسیژن پیش از ترک اتمهای تیتانیوم فیلم را ترک کرده‌اند. اگر روند کندوپاش را ادامه دهیم به زیر لایه سیلیکون می‌رسیم (شکل ۳) که بدین وسیله می‌توان ضخامت فیلم اکسید تیتانیوم را محاسبه کرده به طوری که از حاصل ضرب تعداد لایه‌های کند و پاش

شده در سرعت $17 \frac{\text{Å}}{\text{S}}$ (که با تکنیک بیضی سنجی به دست آمده است) در زمان کند و پاش به دست می‌آید. ضخامت به دست آمده فیلم اکسید تیتانیوم در حدود ۲-۳ نانومتر است. از همه مهمتر این است که پس از چند لایه اکسید تیتانیوم + کربن به زیر لایه سیلیکون رسیدیم که به معنی آن است که با این روش توانستیم لایه بسیار نازک فیلم اکسید تیتانیوم را بر زیر لایه $Si(111)$ رشد دهیم.

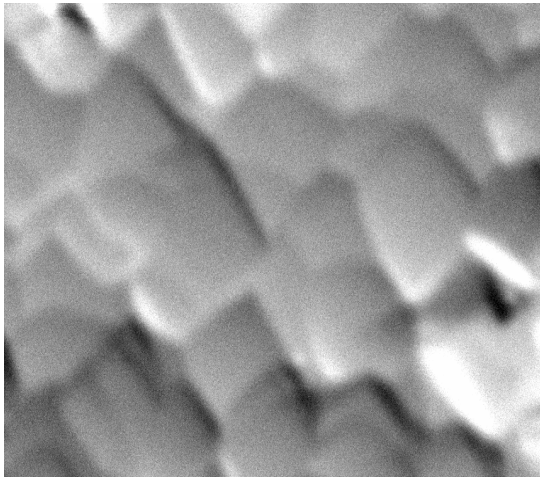
از طرف دیگر فیلم تشکیل شده را در درون محفظه خلأ میکروسکوپ الکترونی گذاشته و سپس با استفاده از الکترونهاي ثانويه تصاویری از فیلم گرفته شده است که در شکل‌های ۴ و ۵ مشاهده می‌شود. این تصاویر به وضوح نشان می‌دهند که فیلم متخلخل در حالت اولیه تشکیل فیلم صورت



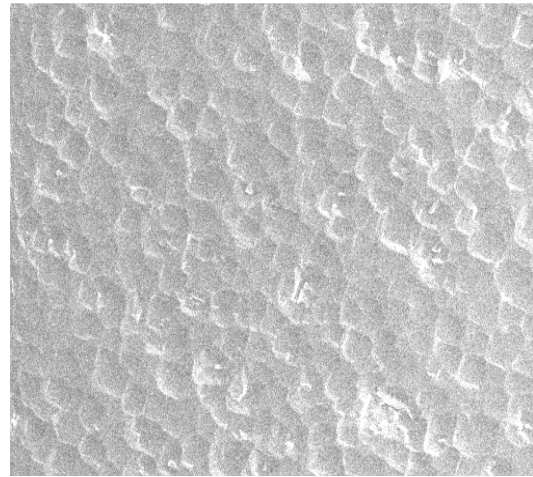
شکل ۳. طیف AES مربوط به سیلیکون تمیز.

سیلیکون نشان‌دهنده شیر مخزن اکسیژن را که از خلوص اسمی ۹۹/۹۹ درصد برخوردار بود باز کردیم. وقتی نمونه در دمای مورد نظر قرار داشت مولکولهای اکسیژن بر نمونه تابیده و بدین ترتیب اکسید تیتانیوم شکل گرفت. آنگاه نمونه را بلافاصله در سیستم پرکین المر (Perkin Elmer) گذاشتیم. طیف مربوط به آن را می‌توان در شکل ۱ مشاهده کرد.

پس از آن از طریق کند و پاش (Sputtering) با یون آرگون (Ar^+) به مطالعه ساختار اکسید تیتانیوم پرداختیم. در نمودار مربوط به کندوپاش که در شکل ۲ آمده است قله‌های مربوط به اکسیژن و تیتانیوم (و گاز آرگون) مشاهده می‌شوند. هرچند کربن هم بالای فیلم قرار دارد که مربوط به نفوذ کمی روغن تبخیر شده در درون محفظه است. ولی بلافاصله با یونهای Ar



شکل ۵. تصویر SEM با بزرگنمایی ۱۵۰۰. عمق حفره ۲/۵ نانومتر است که یک دوم ضخامت فیلم می‌باشد.



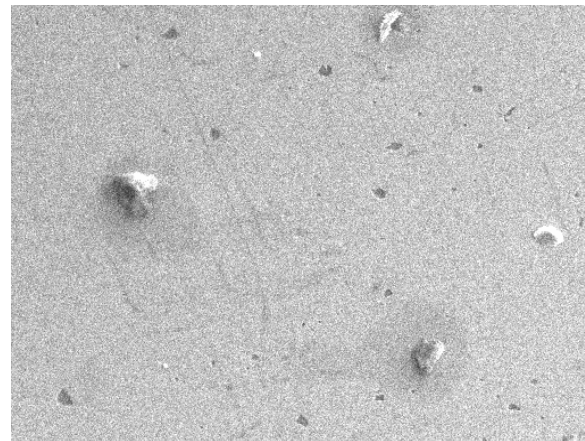
شکل ۴. تصویر SEM با بزرگنمایی ۵۰۰. عمق حفره ۱/۴ نانومتر است که یک سوم ضخامت فیلم می‌باشد.

یکنواخت از فیلم پیش می‌رود. یعنی توانستیم یک فیلم یکنواخت و بدون تخلخل بر زیرلایه سیلیکون رشد دهیم. برای تعیین غلظت هر عنصر در فیلم از روابط زیر استفاده می‌کنیم.

$$C_O = \frac{996}{0.288} / \left(\frac{275}{0.577} + \frac{621}{0.865} + \frac{996}{0.288} \right) = 0.74,$$

$$C_C = \frac{275}{0.577} / \left(\frac{275}{0.577} + \frac{621}{0.865} + \frac{996}{0.288} \right) = 0.10.$$

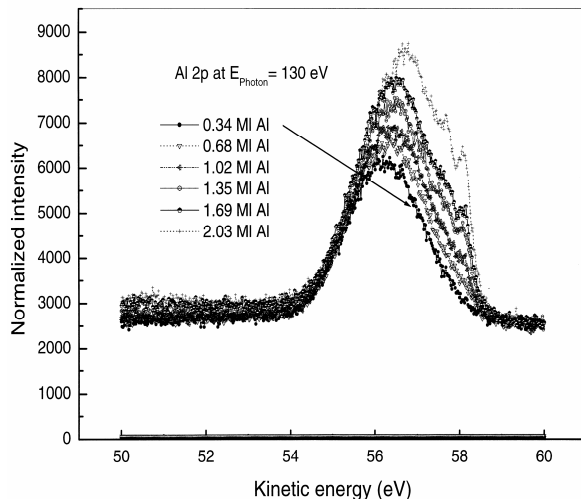
بحث در روابط و نتایج آن را به بخش مربوطه (بخش ۳) وامی‌گذاریم. اما در تلاشی دیگر، به طریقی تقریباً مشابه روش فوق در فرآیند تمیز سازی، فیلم نیتريد آلومینیوم را بر روی سیلیکون رشد داده‌ایم. در اینجا، نمونه‌های سیلیکون از ورقهای Si(۱۱۱) در اندازه حدود $10 \times 30 \text{ mm}^2$ ($n\text{-type}$, $5\Omega\text{-cm}$) بریده شده‌اند و از یک طرف صیقل داده شده‌اند. محفظه واکنش ابتدا تا فشار 2×10^{-10} تور تخلیه شده و برای رشد فیلم نیتريد، نمونه‌ها در معرض اتمهای نیتروژن قرار می‌گیرند. در این مرحله، محفظه واکنش در فشار 5×10^{-7} تور نگه داشته شده است. نمونه‌های سیلیکون تا دمای 1200°C گرم شده‌اند تا سطح تمیزی از سیلیکون به دست آید. یک سلول (Knudsen cell) برای تبخیر آلومینیوم مورد استفاده قرار گرفته است. سیمهای آلومینیومی که کاملاً خالصند در این استوانه قرار می‌گیرند و از آنها جریان برق عبور می‌کند، در اثر عبور این جریان سیم آلومینیوم داغ شده، ابتدا ذوب و سپس بخار می‌شود. سپس بخارات آلومینیوم



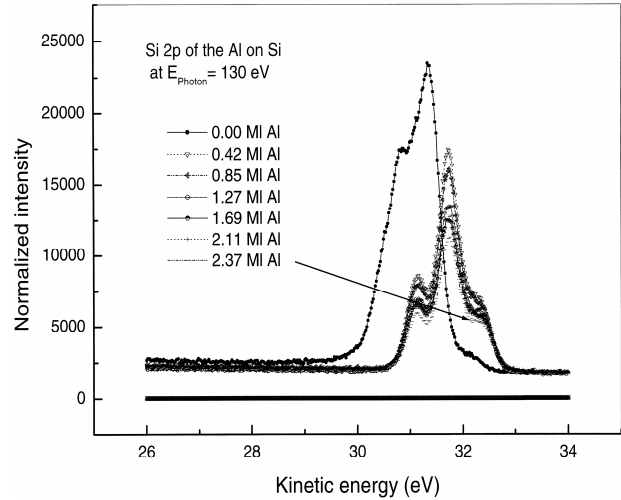
شکل ۶. تصویر SEM با بزرگنمایی ۵۰۰ که نشان دهنده پر شدن حفره‌ها با اکسیژن است. حفره‌ها تقریباً پر شده‌اند.

گرفته است که آن را به عنوان موضوعی قابل بررسی به آینده واگذار می‌کنیم. در اینجا اندازه عمق حفره و ضخامت فیلم که با توجه به مرجع [۱۳]. برآورد شده است و برای بررسی بیشتر نیاز به تکنیکهایی مثل بیضی سنجی است که در کارهای آتی به آن می‌پردازیم.

اما نکته قابل توجه آن است که اکسید تیتانیوم در حالت اولیه رشد به صورت متخلخل مشاهده می‌شود در حالی که شاید انتظار رشد لایه‌ای یا خوشه‌ای می‌رفت. با ادامه لایه نشانی تیتانیوم + اکسیژن حفره‌های فوق پر شده و به صورت فیلمی که در شکل ۶ نشان داده‌ایم در می‌آید که به سمت لایه‌ای



شکل ۸. طیف $Al\ 2p$ مربوط به لایه نشانی نیتراید آلومینیوم بر زیر لایه سیلیکون. انرژی فوتون فرودی $130\ eV$ است.



شکل ۷. طیف $Si\ 2p$ مربوط به لایه نشانی آلومینیوم روی سیلیکون. این طیفها با سینکروترون گرفته شده است و انرژی فوتون فرودی $130\ eV$ است.

تشکیل نیتراید آلومینیوم است. قله‌های مربوط به آلومینیوم و سیلیکون با نیتراسیون جابه‌جا شده و انرژی بستگیهای (انرژی جنبشی) پاینتری را نشان می‌دهد.

۳. بحث

در طیف AES می‌توان ارتفاع هر قله را به‌دست آورد یعنی نوک قله از ته دره مربوط به قله هر عنصر را یادداشت کرد و آنگاه تحت عنوان ارتفاع یا شدت آن قله ثبت کرد. آنگاه می‌توان غلظت اتمی هر عنصر را تعیین کرد. چرا که غلظت (C_X) برابر نسبت شدت عنصر مجهول (I_X) به غلظت معلوم و استاندارد همان عنصر ($I_{X,STD}$) است پس:

$$C_X = \frac{I_X}{I_{X,STD}}$$

در روش دیگری هم می‌توان سیگنال نمونه را با سیگنال از هدفی که از نقره است مقایسه کرد. چون نقره به عنوان عنصری مرجع در تنظیم و تست طیفهای AES به کار می‌رود. حال می‌توان با توجه به حساسیت نسبی نقره ($S_{X,Ag}$) نوشت:

$$S_{X,Ag} = \frac{I_X^H}{K_X I_{Ag}^H}$$

که I_X^H و I_{Ag}^H به ترتیب ارتفاعهای قله به قله عنصر X و نقره در طیف AES می‌باشند و K_X هم فاکتور مقیاسی است که در طیف مشخص می‌گردد. بنابراین می‌توان غلظت عنصر X را به‌دست آورد:

به سمت نمونه تمیز سیلیکون فرستاده شده و فیلم نیتراید آلومینیومی با ضخامت حدود $0.3\ ML$ تا $2.5\ ML$ آلومینیوم روی سطح $7 \times 7 - Si(111)$ در دمای اتاق لایه نشانی می‌شود. برای تشکیل فیلم نیتراید آلومینیوم، فیلم آلومینیوم تشکیل شده را در معرض اتمهای نیتروژن قرار می‌دهیم. قابل ذکر است که چون مولکولهای نیتروژن بی اثر هستند، لازم است ابتدا مولکولهای نیتروژن را به اتمهای نیتروژن تجزیه کنیم. برای این منظور مولکولهای نیتروژن را در یک لوله مؤین قرار داده و تابش میکروموج از آن عبور می‌دهیم [۱۱ و ۱۲]. این فرآیندها آنقدر تکرار می‌شوند تا ضخامت مطلوبی به‌دست آید.

اما رشد نیتراید آلومینیوم نیز همانند رشد اکسید سیلیکون بر زیر لایه سیلیکون در شرایط فشار پایین و در محفظه فوق خلاء، یک رشد خود محدود کننده (Self-limiting) است [۱۲]. بنابراین با این روش نمی‌توان نیتراید آلومینیوم ضخیمی را تولید کرد. البته این مشکلی را به‌وجود نمی‌آورد چون لایه نیتراید آلومینیوم تا ضخامت $3-4\ nm$ به عنوان گیت CMOS نیاز می‌باشد. در شکل‌های ۷ و ۸ به ترتیب طیف سینکروترونی $Si\ 2p$ و $Al\ 2p$ که مربوط به لایه نشانی نیتراید آلومینیوم می‌باشند مشاهده می‌گردد. در این نمودارها مشاهده می‌شود که با افزایش اتمهای نیتروژن بر $Al-Si$ ، هر دو عنصر آلومینیوم و سیلیکون به گونه‌ای کاهش شدت را نشان می‌دهند که به معنی

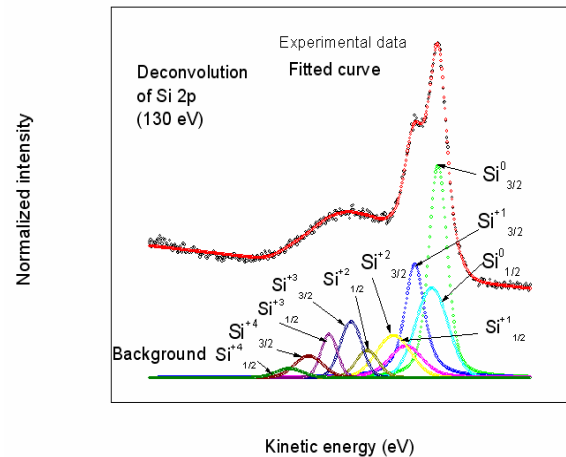
وجود دارد یعنی در لایه میانی فیلم با زیر لایه سیلیکون، فیلم آمورفی شکل گرفته است که قادر است همانند فیلم آمورف اکسید سیلیکون مانع جریان تونل زنی باشد.

در ارتباط با فیلم نیتريد آلومینیوم هم می توان گفت که جابه جایی پیوسته قله ترازهای اتمی آلومینیوم و قله $Si\ 2p$ به همراه آلومینیوم در شکل های ۷ و ۸ نشان می دهند که فیلم نیتريد آلومینیوم لایه نشانی شده به صورت تنها فیلم شکل گرفته شده بر روی سیلیکون است. چون اگر نیتريد سیلیکون در بین نیتريد آلومینیوم و سیلیکون شکل می گرفت آنگاه می بایست قله های $Si^{+4}\ 2p_{3/2}$ و $Si^{+4}\ 2p_{1/2}$ در

انرژی های نزدیک به قله های مربوط به توده Si_3N_4 وجود می داشت ولی قله های $Si^{+4}\ 2p_{3/2}$ و $Si^{+4}\ 2p_{1/2}$ در جایی است که مربوط به تراز اتمی نیتريد آلومینیوم می باشد. چون جابه جایی $Si\ 2p$ و $Al\ 2p$ مربوط به فیلم نیتريد آلومینیوم با مقدار آلومینیوم و یا نیتروژن به طور پیوسته تغییر می کند می توان نتیجه گرفت که ترکیبات شیمیایی ماده مزبور در طی فرآیند دچار تغییر می شود. همان طوری که اشاره شد برای بررسی ساختار شیمیایی و تغییر قله های مرتبط، به برنامه استاندارد FitXPS روی می آوریم. در شکل ۹ طیف $Si\ 2p$ فیلم نیتريد آلومینیوم به ۴ قله Si^{+4} ، Si^{+3} ، Si^{+1} و Si^0 تجزیه شدند، همان طوری که قبلاً در برازش طیف های نیتريد سیلیکون با استفاده از FitXPS به تحلیل طیفها پرداخته شد [۱۳-۱۰]. این قله ها به ترتیب بیانگر پیوند اتم های سیلیکون با یک، دو، سه و چهار اتم دیگر (اتم های آلومینیوم و نیتروژن) می باشند.

لایه های میانی بین فیلم و زیر لایه سیلیکون بیشتر با Si^{+1} ، Si^{+2} و Si^{+3} نشان داده می شود که البته بخش عمده Si^{+3} به لایه فوقانی بر توده فیلم نیتريد آلومینیوم بر می گردد. با استفاده از برنامه FitXPS ملاحظه می شود که قله های Si^{+1} و Si^{+2} وجود دارند که وجودشان با توجه به منابع [۱۹-۱۰] به آمورف بودن لایه میانی بر می گردد. قله های متناظر در برازش طیف سینکروترونی $Al\ 2p$ هم مشاهده می شود.

هر چند با قطعیت نمی توان اظهار کرد که قله ها دقیقاً در جای اصلیشان قرار دارند، ولیکن آنچه که برای کار حاضر



شکل ۹. طیف تجزیه شده $Si\ 2p$ با استفاده از نرم افزار FitXPS.

$$C_X = \frac{I_X}{S_{X,Ag} I_{Ag}}$$

و با توجه به سیگنال یا ارتفاع قله به قله نقره خالص که به عنوان شدت استاندارد به کار می رود می توان نوشت:

$$C_X = \frac{I_X}{S_{X,Ag}} / \sum_a \frac{I_a}{S_{a,Ag}}$$

که در واقع مجموع « Σ » نشانگر جمع بر روی قله هر عنصر موجود در نمونه است. حال در اینجا داریم:

$$C_{Ti} = \frac{621}{0.865} / \left(\frac{275}{0.577} + \frac{621}{0.865} + \frac{996}{0.288} \right) = 0.15,$$

واحد غلظت، تعداد الکترونها بر سانتی متر مکعب است. غلظتهایی که از آنها یاد نشده کوچکند و مابقی به عناصر دیگری که ممکن است در طی آزمایش حضور یافته باشند اختصاص می یابد.

موضوع دیگری که مطرح است مربوط به تصویر SEM است که ساختار متخلخل را نشان می دهد که با ولتاژ آندی ۲۰ ولت گرفته شده است. اندازه سوراخ یا حفره را می توان ۱۵ تا ۳۰ نانومتر برآورد کرد. در حالت اولیه سطح سیلیکون با فیلم اکسید تا حدودی پوشانده شده است و پس از آن ورود تیتانیوم و رقابت آن با اکسیژن، منجر به ساختار متخلخلی شده است که تحقیق در این رابطه به اتمام نرسیده است.

تصاویر AES و کند و پاش شده، حضور همزمان اتم های اکسیژن و تیتانیوم را نشان می دهد که با توجه به اندازه غلظتهای آنها می توان نتیجه گرفت که علاوه بر TiO_2 ، TiO هم در نمونه

امکان رشد اکسید تیتانیوم بوده است که با توجه به بالا بودن ضریب دی الکتریک آن و نیز شکل لایه میانی آن با زیر لایه انتظار می رود که بتوان از آن به عنوان جایگزینی مناسب در تولیدات آتی گیت های دی الکتریک ترانزیستورهای CMOS استفاده کرد.

بررسی های صورت گرفته بر روی ساختار نیتراید آلومینیوم هم نشان می دهد که توانستیم نانو فیلم آمورف نیتراید آلومینیوم را بر زیر لایه Si(111) رشد دهیم. این فیلم به دلیل آمورف بودن، برخورداری از ثابت دی الکتریک بالا، مقاومت گرمایی بالا و ضخامت EOT (Equivalent-Oxide-Thickness) بیشتر می تواند مشکلات گیت اکسید سیلیکون در نانو ترانزیستورهای قطعات الکترونیکی را مرتفع سازد و بنابراین پیشنهاد می شود که فیلم نیتراید آلومینیوم به عنوان یک جایگزین خوب به جای نانو اکسید سیلیکون در تولیدات آتی ترانزیستورها به کار آید.

۵. سپاسگزاری

همان طور که بیان شد داده های مورد استفاده، از دانشگاه های ادنسه و آرهوس گرفته شده اند و نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند تا از پروفیسور پرمورگن و هن لی نهایت سپاس را ابراز دارند که شرایط خوب را جهت انجام آزمایش فراهم آوردند و در نوشتن مقاله فعلی خواستند تنها در قدردانی نام آنها ذکر گردد.

دارای اهمیت است کریستالی (میکروکریستالی) و یا آمورف بودن فیلم مزبور می باشد و جدای از آن با مقایسه انرژی قله های مزبور با مکان قله های فیلم نیتراید سیلیکون که در مراجع [۱۱ و ۱۲] آمده است، ملاحظه می گردد که فیلم نیتراید سیلیکون شکل نگرفته است که در غیر این صورت می توانست با توجه به

$$C = C_{AIN} + C_{Si_3N_4}$$

بر ظرفیت خازنها در قطعات الکترونیکی به ویژه نانو ترانزیستورها اثرات نامطلوبی را برجای بگذارد. منظور این است که با جایگزین نمودن گیت اکسید سیلیکون با ماده دیگر (در اینجا نیتراید آلومینیوم)، ظرفیت خازن باید بدون تغییر بماند. در حالی که تشکیل فیلم نیتراید سیلیکون می توانست مشکلاتی را به وجود آورد، ولی خوشبختانه برازش طیفها با برنامه FitXPS عدم وجود لایه میانی نیتراید سیلیکون را نشان می دهد و آنچه که در شکل های ۷ و ۸ به وضوح نشان داده شده است تشکیل فیلم نیتراید آلومینیوم بر زیر لایه سیلیکون است.

۴. نتیجه گیری

ساختار فیلم نانو تیتانیوم اکسید سیلیکون یک ساختار دانه ای بوده که در لایه نشانی هایی به مدت طولانی تر به فیلمی تقریباً یکنواخت دست یافتیم. همچنان که غلظت اتمی عناصر Ti و O نشان می دهد،

مراجع

1. W G Lee, S I Woo, J C Kim and S H Oli, *Thin Solid Films*, **237** (1994) 105.
2. Q Fu and T Wagner, *Surf. Sci. Report*, **62** (2007) 431.
3. P Morgen, A Bahari, U Robenhagen, J Anderson, K Pederson, M G Rao and Z Li, *J. Vac. Sci. & Tech. A.*, **23** (2005) 201.
4. P Morgen, A Bahari and K Pederson, *Functional properties of Nanostructured Material*, **223** (2006) 229-257.
5. A Bahari, P Morgen and K Pederson, *J. Vac. Sci. & Tech. B*, **24** (2006) 2119.
6. www. Japancorp.net.
7. M A Barteau, *J. Vac. Sci. & Tech. A.*, **11** (1993) 2162.
8. AUTO 500 Vacuum Coater Installation and Maintenance Manual. E093-855 Issue B.
9. D Adams and J N Andersen, FITXPS: a fitting program for core level spectra, available from; ftp://boobpic.ifa.au.dk/Pub/fitxps.
10. T A Delchar, *Vacuum Physics and Techniques*, ISBN0-412-46590-6 (1992).
11. A Bahari, U Robenhagen, P Morgen and Z S Li, *Phys. Rev. B*, **72** (2005) 205323.
12. A Bahari, P Morgen and Z S Li, *Surf. Sci.*, **29** (2006) 66.
13. P Morgen, A Bahari, C Janfelt, K Pedersen, S Li and M Rao, *ISA, Newsletter*, **9** (2005) 2.
14. www. Cs. Technion. ac. il / mendlson.
15. I J R Bamvol, C Kurg, F c stedile, F Gorris, W H Schulte, *Phys. Rev. B*, **22** (1980) 1885.
16. G Locovsky, *IBM. RES. DEVELOP* **6** (1999) 39.
17. E P Gusev, H C Lu, T Gustafsson, E Garfunkel, M L Green, and D B Rasen, *J. Appl. Phys.* **82** (1997) 896.
18. A A Demkov and O F Sankey, *Phys. Rev. Lett*, **83** (1999) 2038.
19. J W Kim, H W Yeom, *Phys. Rev. B*, **67** (2003) 035304.